[防雷措施]

配电网防雷击断线措施

文/卢骧　王京京　郭金泓
浙江省送变电工程有限公司

研究雷电过电压的分类及其在配电线路上的表现形式，并重点分析配电网雷击故障的机理。针对架空绝缘导线遭雷击断线和其他电力设备遭雷击故障的问题，通过安装避雷器、适当增加线路绝缘水平及安装线路过电压保护器等手段，可有效地降低雷击对配电线路的影响，提高配电网的运行安全性。

随着电力系统的快速发展，配电网作为电力传输的重要组成部分，其安全稳定运行对于保障社会生产和人民生活用电非常重要。然而，配电网常常面临着雷电等自然灾害的威胁，雷击事件导致的线路断线故障频繁发生，给电力系统的安全稳定运行带来了极大的挑战。雷电作为一种自然现象，其释放的能量巨大，对电力系统的影响不容忽视。在配电网中，雷击事件往往导致绝缘导线断线、设备损坏等严重后果，这不仅影响了电力系统的正常运行，还可能造成经济损失和社会影响。因此，研究配电网防雷击断线措施，提高配电网的防雷水平，对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。

目前，配电网防雷击断线技术的研究已经成为电力领域的研究热点。国内外学者和工程师通过理论分析和实践探索，提出了一系列有效的防雷措施，如安装避雷器、提高线路绝缘水平和安装线路过电压保护器等。这些措施在一定程度上降低了雷击对配电网的影响，提高配电网的防雷能力。但是，由于配电网的复杂性和雷电活动的随机性，配电网防雷击断线技术仍然面临着诸多挑战。例如，如何准确评估配电网的雷电风险，如何选择合适的防雷措施、如何优化防雷设备的配置等问题，都需要进一步深入研究。因此，本研究旨在深入分析配电网雷击故障机理，探讨有效的防雷击断线措施，为配电网防雷工作提供理论支持和实践指导，为提升电力系统的稳定运行水平做出贡献。

雷电过电压分类

1. 直击雷

雷电直接击中建筑物或其他物体，并向建筑物或其他物体放电，形成强烈的闪电。当雷电穿过这些物体并到达地面时，会产生非常具有破坏性的热效应和机械效应，破坏建筑物、电器和其他受影响的物体。这种类型的损害称为直接雷击[1]。

2. 感应雷

当雷电袭击时，静电和电磁感应产生的强大电流会在附近的物体中引起危险的浪涌，损坏设备并对人和动物造成伤害。这种类型的雷电损害称为感应雷电。

3. 雷电波

电力线暴露在直接或感应雷电中，雷电波到达变电站、开关站或电力线沿线的电气设备。如果不采取预防措施，高压雷电波会损坏变电站、开关站和架空线的电气设备，甚至造成伤害。这种类型的雷电损害称为高压雷电穿透。

4. 雷电参数

1）雷暴日。一般来说，雷暴日是指每年平均的雷暴天数，以d/a表示。在中国，年平均雷暴天数少于15 d/a的地区归类为少雷区，而超过40 d/a的地区归类为多雷区。

2）雷电流幅值。主放电时冲击电流产生的浪涌电流的最大值称为雷电电流的振幅。雷电电流的振幅可以在10～100 kA之间变化。

3）雷电流陡度。雷电流随时间上升的速度叫雷电流陡度。一个雷击的冲击峰值速度可以达到50 kA/μs，平均峰值速度约为30 kA/μs。为了设计雷电防护，一般认为波前是一个时间长度为2.6 μs的斜面波。雷电电流的突发性越大，对电气设备的损害就越大。

4）雷击冲击过电压。雷击冲击过电压是指雷电击中电力线路、电气设备或杆塔时，由于雷电流的巨大冲击，导致线路或设备上的电压瞬间升高，超出其正常承受范围。这种过电压会对电力系统的正常运行造成严重影响，甚至导致设备损坏或事故发生。直击雷冲击过电压由两部分组成，即闪电电流的大小和闪电电流通道的电阻，以及闪电电流通道的电感。

有避雷线的线路雷击跳闸率的确定

1. 雷击跳闸率

雷击跳闸率为反击跳闸率和绕击跳闸率之和，即

$$n = n_1 + n_2 = N\eta(gP_1 + P_aP_2) \quad (1)$$

2. 反击跳闸率

雷击杆塔时的跳闸率为

$$n_1 = N_g P_1 \eta \quad (2)$$

式中，N为每年每100 km导线的雷击次数（40个暴风雨日）；g为击中杆塔的概率；P_1为最大雷电电流超过被雷电击中的塔的雷电阻力的概率；η为建造电弧的概率；一般地区$P^2 = 10^{-\frac{1}{44}}$；西北地区$P^2 = 10^{-\frac{1}{88}}$，见表1。

表1　击杆率取值

地线\避雷线根数	0	1	2
平原	1/2	1/4	1/6
山区	--	1/3	1/4

3. 绕击跳闸率

绕过避雷针而直接击中线路的雷击次数为

$$n_2 = \eta P_2 P_a N \quad (3)$$

式中，N为每年每100 km导线的雷击次数（40个暴风雨日）；P_a为绕过线击中的概率；P_1为最大雷电电流超过被雷电击中的塔的雷电阻力的概率；η为建造电弧的概率。

规程法由统计得出；分平原和山区讨论。

规程法-绕击率（平原地区）为

$$\lg P_a = \frac{a\sqrt{h}}{86} - 3.9 \quad (4)$$

式中，α为保护角（°）；h为杆塔高度（m）。

配电线路雷电过电压的形式

1. 感应雷过电压

雷电感应是指在设备或高空的电力线路附近产生了大量的雷电，但是这些雷电是不会破坏设备或者线路，就是会把外界和里面隔绝起来。如果设备里面的雷电处于第二阶段时，配电线路就会产生束缚电荷。在主放电阶段，先导导体中的电荷迅速被先导导体中的电荷中和，然后配电线路导体上最初的束缚电荷立即变成自由电荷，导体两侧的自由电荷电流和诱发的过电压诱发了过电压。

当架空电力线路裸露在大气中时，位于城市地区，对雷电的最大保护是1～2个绝缘子。当雷电击中配电网中的附近物体导致绝缘子接地时，配电网中出现感应峰电流，感应峰电流同时出现在配电网中的三相导线上，此时问题相没有电位差。国内配电网采用中性点不接地方式，这种接线方式的缺点是：当配电网受到雷电或单相接地故障的破坏时，接地故障引起的电弧不能自行消失，最终会变成相间短路，造成设备损坏和人员伤亡。

为了保障配电网的安全运行，国家和地方电力部门不断探索新的配电方式和措施。例如在10 kV线路上加装避雷器，即在线路的两端装避雷器，与线路间形成一个回路，其对地形成一个电容放电回路。当雷击发生时，由于雷电流是通过导线并作用于避雷器上的，所以对地电容被快速消耗。而避雷器在承受到雷击时，也不会发生闪络现象。但由于避雷器的过电压作用是有限制的，而且它本身也需要一定的时间才能发挥作用，这就导致了它在雷击时会因承受不起而被击穿损坏。另外当雷击发生时，雷电流通过导线直接作用于避雷器上，从而使避雷器导通将雷电在线路上分流。

2. 直击雷过电压

直击雷电压是指闪电放电电源线或设备，闪电进入的时候会产生超级大的电压，导致电压达到了

最顶点。其主要破坏有如下几个方面。

1）电效应破坏。由雷电产生的几十万甚至几百万伏的电压浪涌所表现出的电气特性的破坏性影响，产生的过电压可以穿透电气设备的绝缘层。烧毁电线和发生短路爆炸，其放电火花，地面上的大规模雷击，在雷电接地点周围5～10 m范围内形成极高的电压，可直接造成低电压和分级电压触电事故。

2）热效应破坏。热破坏的形式是当巨大的雷电流在短时间内通过电力线并将其转化为大量的热量时，就会发生热损坏。这种高温效应使金属燃烧、熔化和散落，引起火灾和爆炸。

3）机械效应破坏。破坏作用的机械性，表现为被击物体会直接破坏机械性质，包括气体中残留水分迅速膨胀并大量汽化，而暴露的物体就会遭到破坏。此外，在汽化闪电中，均质电荷的排斥力、流动曲率中的电磁吸引力以及汽化闪电过程中的气体波都具有很强烈的破坏作用。

配电网雷击故障机理分析

1. 架空绝缘导线遭雷击断线

在发生雷击的情况下，绝缘地线和裸地线的物理特性有明显的区别。在发生由裸导体绝缘子过电压引起的直击雷或感应雷电流的情况下，顺序频率短路电流的电弧以电动力的形式沿着导体远离电网的方向移动，在断路器跳闸前，烧毁的导体或绝缘子故障的频率的连续电流会中断电弧。

对于对地绝缘导体，雷击时的瞬时电弧电流非常大，但又非常短。电线并不是只有在通往地面的绝缘层时有洞才会燃烧，而是在出现雷电袭击时，两相或三相（不一定在同一电线杆上）。假如说电弧的能量迅速增加，雷电会跟电弧形成的金属短路可以产生几千安培的连续电流。因为架空电力线路的绝缘层不允许电弧流过线路表面，因此高温电弧将穿透绝缘层并使断路器跳闸之前，导体就已经烧毁。因此，由频率中断引起的闪络是架空线绝缘导线闪络的主要原因。

2. 其他电力设备遭雷击故障

非绝缘导体的电气设备的雷击故障主要包括如下几点。一是在配电变压器中，限流器电压侧的故障往往与靠近铁塔的高压线有关。当雷电击中铁塔时，高压线上会感应到更强的雷电电流，从而发生故障。二是配电变压器的故障，即由于高压侧电枢本身的质量问题。当诱导雷电电流过大会导致残压过高，低压侧缺少避雷器。三是高低压电缆的故障，即由于电缆的进线和出线两端没有安装避雷器，或者两端的铠装层没有可靠接地而产生。四是电表的雷击损坏，通常是由于电力线中的雷电能量感应过大，或者没有增加保护措施。

防止绝缘导线雷击断线技术的措施

1. 避雷器安装

避雷保护器用于保护电气设备避免被雷电击中，或工作过电压和瞬间过电压的影响，除此之外还限制了设备里面的开关时间和开关的幅度。一般来说是大地连接主线，绕组跟导线有时候也会连接。当线路被雷电击中时，会出现雷电弧的重叠。安装避雷器的目的是抑制雷击，现在是把避雷器与绝缘子平行安装，固定在横担上。当雷击开始发生的时候，避雷器是第一时间动作，避雷器会自动的分支，这个分支是防止雷电过负荷。与前者相比，线路电位开阔，绝缘子两侧的电位较低，能有效防止雷电的发生，因此，交叉电阻能更好地保护绝缘子。

2. 适当增加线路绝缘水平

有研究显示提高绝缘子50%的放电电压，即通过增大电弧间隙来提高线路的绝缘水平，可以使闪络引起频率的连续性。如果电弧间隙大而不能形成电弧，这种方法可以比较明显地降低闪络的闪络率。这种加强绝缘导线局部绝缘强度的方法也能明显提高供电可靠性。在电力线路上进行绝缘加厚的特殊方法，当放电发生时，所有的绝缘塌陷都会发生在导线的绝缘边缘，这种边缘绝缘水平较高，使线路浪涌的放电达到一个稳定的水平。另外，为提高线路绝缘效果，也可以将传统使用的铁质横担和直线条的瓷质挂瓶换成用玻璃钢绝缘横担和钢化玻璃绝缘子。这是因为玻璃钢溶丝横担绝缘水平高、机械强度好是当使用玻璃钢溶丝横担代替铁横担的时候，不仅能使雷击路径增加，还可以提高线路的绝缘水平。绝缘水平提高会使弧闪率降低。

3. 安装线路过电压保护器

过电压线路保护是一种保护架空线路的装置。直接雷电或由雷电击中架空电力线引起的感应雷电。

在高温电弧瞬间融化导体时，很容易造成绝缘体断裂或被产生的工频连续电流所破坏。为了防止这种事故的发生，架空线路必须安装线路电压保护装置，当雷电击中架空线路时，将雷电电流分流到保护装置，切断工作频率连续电流，防止绝缘子断裂或损坏，以保护架空线路，防止雷击事故的发生。

安装线路过电压保护器时要根据线路采用的安装尺寸，以及绝缘子类型来定。线路过电压保护器是由两部分组成的：一个串联集电器由不锈钢铅环组成；另一个是非线性电阻限流元件由氧化锌阀板组成。氧化锌阀板在经过最顶峰的时候，其电阻值非常低，但是电压较高时，其电阻值又比较高，这种过电压保护器有抑制过电压保护设备的作用。这种方法性价比高，价格实惠，使用和维护方便，是值得在服务中推广使用的绝缘架空线。

结束语

本研究围绕配电网防雷击断线措施进行了深入探讨，通过对雷电过电压的分类、配电线路雷电过电压的形式以及配电网雷击故障机理的分析，提出了一系列有效的防雷击断线措施。这些措施包括避雷器的安装、适当增加线路绝缘水平以及安装线路过电压保护器等，旨在降低雷击对配电网的影响，提高配电网的防雷能力。

由于配电网的复杂性和雷电活动的随机性，必须不断加深对配电网雷击故障机理的理解，优化防雷措施的配置和应用。同时，也需要关注配电网防雷技术的创新和发展，积极引进新技术、新材料和新方法，提高配电网的防雷水平。希望本研究能为保障配电网的安全稳定运行，为社会经济发展提供可靠的电力保障。**EA**

（收稿日期：2024-03-15）

参考文献

[1] 纪良．10 kV配网防雷击断线措施的研究[D]．江苏大学，2021．
[2] 荣腾．东营地区10 kV配电网中综合防雷措施应用研究[D]．山东大学，2018．
[3] 尹延凯．配电网防雷技术措施研究与现场应用[D]．山东理工大学，2016．
[4] 冯瑞发，蔡汉生，廖民传，等．基于改进跳闸率计算方法的输电线路雷击风险评估及防雷配置研究[J]．电瓷避雷器，2022(1)：75-8．
[5] 宋瑞卿．开封市配电网自动化设计的方案[D]．华北电力大学，2018．
[6] 王录亮，韩来君，黄松．海南强雷区典型配电线路差异化防雷措施研究[J]．掌桥科研，2022(3)：103-108．